

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-140086

(43)Date of publication of application : 14.05.1992

(51)Int.Cl. H02P 5/00

(21)Application number : 02-260000

(71)Applicant : HITACHI LTD  
HITACHI HARAMACHI SEMICONDUCTOR LTD

(22)Date of filing : 28.09.1990

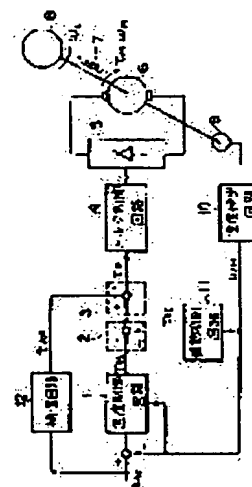
(72)Inventor : OKUYAMA TOSHIKI  
SUGANO MINORU  
MATSUI TAKAYUKI  
KAMII KENZOU  
TOBIYO MASAHIRO

## (54) METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING MOTOR

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain a high-speed control characteristic by a method wherein a torque command value of a motor is corrected based on a vibration control torque command value and at least one of a proportional value and differential value of a transfer function which expresses a target speed response characteristic is multiplied by a speed command value and the torque command value of the motor is corrected based on the sum of the proportional value and the differential value.

**CONSTITUTION:** A speed value  $\omega_M$  detected by a speed detection circuit 10 is inputted into a speed control circuit 1 and vibration control circuit 11. The vibration control circuit 11 calculates a vibration control compensation torque command  $\tau_{RC}$  in proportion to a torsional vibration component of a shaft which is included in the detected speed value  $\omega_M$  inputted into the vibration control circuit 11 and adds the calculated value to a base torque command  $\tau_{RS}$ . In other words, the vibration control circuit 11 applies reverse vibration to a motor 6 in order to control vibration of the load 8. Meanwhile, a compensation circuit 12 calculates a compensation torque command  $\tau_{RF}$  which compensates an offset, overshoot, responsibility, etc., of the speed control circuit 1 and vibration control circuit 11 and adds the calculated value to the base torque command  $\tau_{RS}$  in the same manner as mentioned above.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-140086

⑬ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)5月14日

H 02 P 5/00

K

9063-5H

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全10頁)

⑮ 発明の名称 電動機の制御方法および制御装置

⑯ 特 願 平2-260000

⑰ 出 願 平2(1990)9月28日

⑱ 発 明 者 奥 山 俊 昭 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内

⑲ 発 明 者 菅 野 実 茨城県日立市弁天町3丁目10番2号 日立原町電子工業株式会社内

⑳ 発 明 者 松 井 孝 行 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内

㉑ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉒ 出 願 人 日立原町電子工業株式会社 茨城県日立市弁天町3丁目10番2号

㉓ 代 理 人 弁理士 梶 沼 辰 之 外3名  
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

電動機の制御方法および制御装置

2. 特許請求の範囲

1. 制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を少なくとも積分処理して、その偏差を零にするトルク指令値を生成し、このトルク指令値に基づいて前記電動機のトルクを制御する電動機の制御方法において、前記速度検出値に含まれる振動成分を打ち消す振動抑制トルク指令値を生成し、この振動抑制トルク指令値により前記電動機のトルク指令値を補正するとともに、目標速度応答特性を表す伝達関数の比例値と微分値の少なくとも一方に前記速度指令値を乗じ、この乗じて得られる値の加算値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正することを特徴とする電動機の制御方法。

2. 制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を少なくとも積分処理して、その偏差を零にするトルク指令値を生成し、このトルク指令

値に基づいて前記電動機のトルクを制御する電動機の制御方法において、前記速度検出値に含まれる振動成分を打ち消す振動抑制トルク指令値を生成し、この振動抑制トルク指令値により前記電動機のトルク指令値を補正するとともに、前記積分処理による応答遅れと、前記振動抑制トルク指令値のトルク補正により生ずる速度のオフセットおよび前記積分処理によるオーバーシュートとのいずれか一方を補償すべく、前記電動機のトルク指令値を補正することを特徴とする電動機の制御方法。

3. 制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を入力し、その偏差を零にすべく少なくとも積分処理を含む制御処理によりトルク指令値を生成する速度制御回路と、

この速度制御回路から出力されるトルク指令値に基づいて前記電動機の発生トルクを制御するトルク制御回路とを含んでなる電動機の制御装置において、

前記速度検出値に含まれる振動成分を打ち消

す振動抑制トルク指令値を生成して前記電動機のトルク指令値を補正する振動抑制回路と、

前記速度指令値を入力し、この速度指令値と目標速度応答特性を表す伝達関数の比例値と微分値の少なくとも一方とを乗じ、この乗じて得られる値の加算値に基づいて補償トルク指令値を生成して、前記電動機のトルク指令値を補正する補償回路とを設けたことを特徴とする電動機の制御装置。

4. 制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を入力し、その偏差を零にすべく少なくとも積分処理を含む制御処理によりトルク指令値を生成する速度制御回路と、

この速度制御回路から出力されるトルク指令値に基づいて前記電動機の発生トルクを制御するトルク制御回路とを含んでなる電動機の制御装置において、

比例要素と微分要素の少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記検出速度を入力してその出力を加算して振動抑制トルク指令値を生成

この速度制御回路から出力されるトルク指令値に基づいて前記電動機の発生トルクを制御するトルク制御回路とを含んでなる電動機の制御装置において、

比例要素と微分要素の少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記検出速度を入力してその出力を加算して振動抑制トルク指令値を生成し、この振動抑制トルク指令値により前記電動機のトルク指令値を補正する振動抑制回路と、

目標速度応答特性の微分値を伝達関数とする第1の要素と、目標速度応答特性を伝達関数とする第2の要素との少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記速度指令を入力して補償トルク指令値を生成し、その補償トルク指令値または加算値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正する補償回路とを設けたことを特徴とする電動機の制御装置。

7. 前記目標速度応答の遮断周波数を $\omega_c$ とし、前記速度制御回路の積分ゲインをI、比例ゲインをPとし、前記振動抑制回路の比例ゲインを

し、この振動抑制トルク指令値により前記電動機のトルク指令値を補正する振動抑制回路と、

目標速度応答特性の微分値を伝達関数とする第1の要素と、目標速度応答特性を伝達関数とする第2の要素との少なくとも一方の要素を有し、この要素に前記速度指令を入力して補償トルク指令値を生成し、その補償トルク指令値または加算値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正する補償回路とを設けたことを特徴とする電動機の制御装置。

5. 前記速度制御回路が、積分比例制御と、比例積分制御と、マイナーループに速度モデルを備えた制御系とのいずれか1つ出あることを特徴とする請求項3、4のいずれかに記載の電動機の制御装置。

6. 制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を積分する積分要素と、前記検出速度に比例ゲインを乗ずる比例要素とを有し、積分要素の出力から比例要素の出力を減算して、トルク指令値を生成する速度制御回路と、

$k_1$ としたとき、前記補償回路の第2の要素のゲイン $kF_2$ を、

$$\left(k_1 + P - \frac{I}{\omega_c}\right) 0.8 \leq kF_2 \leq \left(k_1 + P - \frac{I}{\omega_c}\right) 1.5$$

とすることを特徴とする請求項6に記載の電動機の制御装置。

8. 圧延機やロボットなどの低剛性な機械負荷を駆動する電動機と、

この電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を入力し、その偏差を零にすべく少なくとも積分処理を含む制御処理によりトルク指令値を生成する速度制御回路と、

この速度制御回路から出力されるトルク指令値に基づいて前記電動機の発生トルクを制御するトルク制御回路とを含んでなる電動機制御システムにおいて、

比例要素と微分要素の少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記検出速度を入力してその出力を加算して振動抑制トルク指令値を生成し、この振動抑制トルク指令値により前記電動

機のトルク指令値を補正する振動抑制回路と、

目標速度応答特性の微分値を伝達関数とする第1の要素と、目標速度応答特性を伝達関数とする第2の要素との少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記速度指令を入力して補償トルク指令値を生成し、その補償トルク指令値または加算値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正する補償回路とを設けたことを特徴とする電動機の制御システム。

### 3. 発明の詳細な説明

#### 〔産業上の利用分野〕

本発明は、電動機の制御方法および制御装置に係り、特に電動機と負荷間の機械軸系にねじり振動を伴う低剛性な負荷機械を駆動する電動機の速度制御方法および制御装置に関する。

#### 〔従来の技術〕

低剛性な負荷機械を駆動する電動機の速度制御方法として、文献（電気学会論文誌D 産業応用部門誌107巻8号第1010頁～第1017頁、昭和62年8月）に、状態推定オブザーバ規範

モデルを用いた3方式を挙げ、同一設計基準で設計した場合の各方式の振動抑制効果と応答性の特性比較を行った記載がある。

例えば、速度制御系を積分比例制御（以下、I P制御という）と比例制御（以下、P制御という）について、状態オブザーバを用いた状態フィードバック方式とモデル追従制御方式とを同一設計基準に沿って設計し、それらの特性について比較した記載がある。これによれば、軸のねじり振動を抑制するとともに、外乱に対する速度変動を低減するには、電動機イナーシャ  $J_m$  と負荷イナーシャ  $J_L$  との比をとり、 $J_L/J_m < 1$  の機械系ではP制御+モデル追従制御方式が、一方  $J_L/J_m > 1$  の機械系ではI P制御+状態フィードバック方式が効果的であることが記載されている。

#### 〔発明が解決しようとする課題〕

しかし、上記文献では、軸のねじり振動抑制制御（以下、単に軸振動抑制制御という）と、速度応答性とのそれぞれを個別に最適化することについては配慮されていない。

つまり、一般に、I P制御に比べて比例積分制御（以下、P I制御という）の方が、高速化し易いとされている。しかし、軸振動抑制制御の補償条件によって、速度制御系の応答速度が制限を受ける。そのため、高速応答化が妨げられるので、目標とする速度制御特性を満たすことができないという問題がある。

また、電動機速度の検出値から、比例要素を含む補償伝達関数を介してトルク制御回路へ加える振動抑制制御方式では、P制御に適用すると、速度指令に対してオフセットが発生するという問題がある。この点は、P I制御においても、定常状態では速度指令値と一致するが、速度の立上り時に一時的にオフセットが発生するため、滑らかな目標応答特性が得られないという問題、及びオーバーシュートが発生するという問題がある。

本発明の目的は、ねじり振動性負荷を駆動する電動機の速度制御において、振動抑制制御により系の安定化を図るとともに、速度の応答性に関し振動抑制制御の影響を受けずに高速な制御特性を

得ることができる電動機の制御方法および制御装置を提供することにある。

#### 〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するため、本発明の制御方法は、制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を少なくとも積分処理して、その偏差を零にするトルク指令値を生成し、このトルク指令値に基づいて前記電動機のトルクを制御する電動機の制御方法において、前記速度検出値に含まれる振動成分を打ち消す振動抑制トルク指令値を生成し、この振動抑制トルク指令値により前記電動機のトルク指令値を補正するとともに、目標速度応答特性を表す伝達関数の比例値と微分値の少なくとも一方に前記速度指令値を乗じ、この乗じて得られる値の加算値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正することを特徴とする。

また、本発明の制御装置は、制御対象電動機の速度検出値と速度指令値の偏差を入力し、その偏差を零にすべく少なくとも積分処理を含む制御処理によりトルク指令値を生成する速度制御回路と、

この速度制御回路から出力されるトルク指令値に基づいて前記電動機の発生トルクを制御するトルク制御回路とを含んでなる電動機の制御装置において、前記速度検出値に含まれる振動成分を打ち消す振動抑制トルク指令値を生成して前記電動機のトルク指令値を補正する振動抑制回路と、前記速度指令値を入力し、この速度指令値と目標速度応答特性を表す伝達関数の比例値と微分値の少なくとも一方とを乗じ、この乗じて得られる値の加算値に基づいて補償トルク指令値を生成して、前記電動機のトルク指令値を補正する補償回路とを設けたことを特徴とする。

また、振動抑制回路は、比例要素と微分要素の少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記検出速度を入力してその出力を加算して振動抑制トルク指令値を生成し、この振動抑制トルク指令値により前記電動機のトルク指令値を補正するものとするのが望ましい。

また、前記補償回路は、目標速度応答特性の微分値を伝達関数とする第1の要素と、目標速度応

答特性を伝達関数とする第2の要素との少なくとも一方の要素を有し、その要素に前記速度指令を入力して補償トルク指令値を生成し、その補償トルク指令値または加算値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正するものとするのが望ましい。

〔作用〕

このように構成されることから、本発明によれば、次の作用により上記目的が達成される。

すなわち、振動抑制トルク指令値は、速度検出値に含まれる振動成分を打ち消すトルク指令値であることから、これで電動機のトルク指令値を補正することにより、負荷のねじり振動の反対トルクが加わることになり、振動が抑制される。

また、振動抑制回路を比例要素と微分要素の少なくとも一方の要素を有して構成したものによれば、速度検出値から電動機の発生トルクに至る伝達関数を考慮して、振動抑制に適した比例ゲインまたは微分ゲインを決定する。

一方、目標速度応答特性を表す伝達関数の比例値に速度指令値を乗じ、この乗じて得られる値に

基づいて前記電動機のトルク指令値を補正することにより、速度制御系の積分処理、および振動抑制制御系の処理によるオフセットとオーバーシュートが打ち消される。また、目標速度応答特性を表す伝達関数の微分値に速度指令値を乗じ、この乗じて得られる値に基づいて前記電動機のトルク指令値を補正することにより、速度制御系の積分処理により遅れるトルクパターンを補償して所望の加速トルクを与えることができ、目標の速度応答が得られる。なお、この補償系は、速度指令に基づいて作動するため、制御系の内部状態を変えることがないので、上記振動抑制効果も最適に保持できる。

〔実施例〕

以下、本発明の実施例を図面を参照しながら説明する。

第1図に、本発明の一実施例の電動機制御装置が適用された電動機制御システムの主要部を、機能ブロック図で示す。図示のように、速度制御回路1は入力される速度指令 $\omega_n$ と電動機6の速度検

出値 $\omega_n'$ の偏差を零にするように、電動機6が発生すべきトルクを計算して、基本トルク指令 $\tau_{ns}$ を出力する。この基本トルク指令 $\tau_{ns}$ に対し、振動抑制回路11と、補償回路12からそれぞれ出力される振動抑制トルク指令 $\tau_{nc}$ と補償トルク指令 $\tau_{np}$ とが、加算回路2と3において、それぞれ加算されて最終的なトルク指令 $\tau_n$ とされる。このトルク指令 $\tau_n$ に基づいてトルク制御回路4は、インバータ5を介して電動機6の電動機電流を制御することによって、電動機6の発生トルク $\tau_n$ を制御する。この電動機6には低剛性のねじり要素7を有する軸を介して、圧延機やロボットアーム等の負荷8が連結されている。一方、電動機6の速度 $\omega_n'$ は速度検出器9により検出され、速度検出回路10で処理された速度検出値 $\omega_n'$ が前記速度制御回路1と振動抑制回路11に入力される。振動抑制回路11は入力される速度検出値 $\omega_n'$ に含まれる軸のねじり振動成分に応じた振動抑制補償トルク指令 $\tau_{nc}$ を算出して、前述したように基本トルク指令 $\tau_{ns}$ に加算する。言い換えれば、振

動抑制回路11は、負荷8の振動を抑制するように、電動機6に逆の振動を与える。一方、補償回路12は入力される速度指令 $\omega_n$ に基づいて、速度制御回路1や振動抑制回路11のオフセット、オーバーシュート、応答性等を補償する補償トルク指令 $\tau_{rf}$ を算出し、前述したように、基本トルク指令 $\tau_{ns}$ に加算する。この補償回路12が本発明の特徴部である。

第2図に、第1図実施例を具体化した実施例を示して詳しく説明する。第2図実施例は、第1図実施例をIP制御系に適用した場合のブロック図を、ラプラス演算子 $s$ を用いて表わしたものである。なお、第1図と対応するブロックに同一符号を付している。各ブロックの伝達関数はそれぞれ図中に示したとおりである。なお、速度検出回路10は遅れがないものとして、変換ゲイン $F_n$ で表わしている。

ここで、問題とした振動抑制効果と速度応答特性との関係について説明する。振動抑制効果は、速度検出値 $\omega_n$ から発生トルク $\tau_n$ に至る伝達関数

$$\begin{aligned} \frac{\tau_n}{\omega_n} &= \frac{\frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{s}(P + k_1 + k_2 s)}}{1 + \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{s}(P + k_1 + k_2 s)}} \\ &= \frac{\frac{1}{1 + k_2}}{s^2 + \frac{P + k_1}{1 + k_2}s + \frac{1}{1 + k_2}} \\ &= \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \end{aligned}$$

(4)式より、制御特性を表わす応答性 $\omega_n$  (振動周波数)と振動減衰定数 $\zeta$ はそれぞれ次式(5)・(6)になる。

を(比例+微分)要素にすればよいことが判っているので、次式(1)で表わせる。

$$\begin{aligned} \frac{\tau_n}{\omega_n} &= (Gs(s) - Gc(s)) \cdot Gr(s) \\ &= k_1' + k_2' s \end{aligned} \quad \dots (1)$$

また、トルク制御回路4は制御遅れの影響が小さく、ほとんどがゲインであること、さらに速度制御回路1がIP制御系であることを考えると、ブロック $I/s$ がフィルタ作用をするので、変動周波数が高い $\omega_n$ の変動が吸収されることを加味すると、振動補償回路11の比例要素 $k_1$ と微分要素 $k_2$ は、上記(1)式と第2図から、次式(2)・(3)になる。

$$k_1' = P + k_1 \quad \dots (2)$$

$$k_2' = k_2 \quad \dots (3)$$

ただし、 $k_1'$ ・ $k_2'$ は振動抑制効果に応じて決定されるゲインであり、 $P$ はブロック14のゲインである。

したがって、補償回路12が無いものとしたときの速度応答 $\omega_n/\omega_n$ は、次式(4)で表わす2

$$\begin{aligned} \omega_n &= \sqrt{\frac{1}{1 + k_2}} \\ \zeta &= \frac{1}{2\omega_n} \cdot \frac{P + k_1}{1 + k_1} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{(P + k_1)^2}{1 \cdot (1 + k_2)}} \end{aligned}$$

式(5)と(6)から、応答性の限界について、次のことがいえる。すなわち、圧延機などのように、速度のオーバーシュートを数%以下にすることが要求されるシステムでは、通常 $\zeta$ を約0.7以上に設定するが、式(6)の $P + k_1$ と $k_2$ は振動抑制の条件により決まってしまうので、 $\zeta$ を大きくしようとすると速度制御回路1の積分ゲイン $I$ を大きくできなくなる。したがって、式(5)で表わされる応答性 $\omega_n$ が制限を受け、高速応答性に限界が生じる。

本発明は、上記の応答性の改善および積分要素のためにオーバーシュート側に出る速度のオフセットの問題を改善するために、補償回路12を付加したのである。ここで、補償回路12の具体的

な構成と動作を説明する。第2図に示すように、補償回路12は速度指令 $\omega_R$ に基づいて所望の目標速度応答を達成するための所要の補償トルク指令 $\tau_{RF}$ のパターンを演算するものであり、ブロック23~26を含んで構成されている。いま、目標とする速度応答性を1次遅れ系で模擬するとし、その応答性を $\omega_c$  (しや斯周波数) で表わすと、補償回路12の伝達関数 $G_F(s)$ は次式で表わされる。

$$G_F(s) = \frac{k_{F1}s}{1 + \frac{1}{\omega_c}s} + \frac{k_{F2}}{1 + \frac{1}{\omega_c}s} \quad \dots (7)$$

この補償回路12の動作と各定数 $k_{F1}$ 、 $k_{F2}$ の設定法について、第3図と第4図を参照して説明する。第3図は、第2図のブロック図において制御対象を $1/s$ と近似し、微分補償定数 $k_2$ を“0”としたときの等価変換ブロック線図であり、第4図は速度のステップ応答時の各部の波形を示している。ブロック30は、速度指令 $\omega_R$ のステップ変化に合わせて高速度応答させるため、第4図

(c)に示す波形の加速トルクパターン $\tau_{F1}$ を生成して出力する。これによって、電動機速度が補償されて目標の応答性が得られる。なお、このときの検出速度 $\omega_N$ がロック29を介してフィードバックされ、基本トルク指令 $\tau_{RS'}$ から振動抑制等を含む補償トルク指令 $\tau_{RC'}$ が減算されるため、速度応答に一時的にオフセットが発生するが、ブロック13の積分時定数にしたがって回復してゆく。一方、ブロック31は上記フィードバックされるトルク指令 $\tau_{RC'}$ を打消してオフセットを除去するとともに、ブロック13の積分により $\omega_N$ と $\omega_R$ との差が積分(第4図(a)の斜線部)されることによるオーバーシュートの発生を未然に防ぐ機能を持ち、第4図(c)に示すパターンの補償トルク指令 $\tau_{F1}$ を生成して出力する。ここで、ゲイン $k_{F2}$ の設定法について説明する。定常状態における各要素の出力状態と、その関係は、次式(8)~(11)で表わすことができる。

$$\tau_{RF} = \omega_R \cdot k_{F1} \quad \dots (8)$$

$$\tau_{RC'} = \omega_R \cdot (P + k_2) \quad \dots (9)$$

$$\tau_{RS'} = \omega_R \cdot I \int_0^\infty (\omega_R - \omega_N) d(t) \quad \dots (10)$$

$$(\tau_{RF} + \tau_{RS'} - \tau_{RC'}) \omega_R = 0 \quad \dots (11)$$

ここで、ブロック30の出力 $\tau_{F1}$ は定常状態で“0”であること、また $\tau_{RS'}$ は目標応答 $\omega_R$ と積分ゲイン $I$ が決まれば計算できる(第4図斜線部)ことを考慮すると、オーバーシュートを“0”とするためには次式(12)が成り立ち、 $k_{F2}$ は(13)式で求まる。

$$\omega_R(k_{F1} + I \int_0^\infty (\omega_R - \omega_N) d(t) - (P + k_2)) = \omega_R(k_{F1} + \frac{I}{\omega_c} - (P + k_2)) = 0 \quad \dots (12)$$

$$k_{F2} = (P + k_2) - \frac{I}{\omega_c} \quad \dots (13)$$

また、ゲイン $k_{F2}$ を変えることによって、オーバーシュート量を操作することができる。例えば、オーバーシュート量を0~20%とし、イナーシャ等のパラメータ変動を±20%程度と仮定すると、 $k_{F2}$ の範囲は次式(14)となる。

$$(P + k_2 - \frac{I}{\omega_c}) 0.8 \leq k_{F2}$$

$$\leq (P + k_2 - \frac{I}{\omega_c}) 1.5 \quad \dots (14)$$

上述したように、本実施例によれば、振動抑制制御により系の安定化を図ることができることに加え、この振動抑制制御の影響を受けずに速度応答性を高速化することができるという効果がある。この効果について、第5図に上記実施例を用いて行なったステップ速度応答のシミュレーション結果を示す。なお、機械系の共振周波数は約20Hz、トルク制御系の応答は約250rad/sとした。また、比較のため、第6図に補償回路12を取り外した場合のステップ応答を示す。これによれば、雑振動を抑制できるが、オーバーシュートが発生している。また、第7図は振動抑制回路11と補償回路12の両方とも取り外した従来技術によるステップ応答である。図から判るように、20Hzの雑振動を起しているうえに、オーバーシュートをも生じている。

第8図と第9図に、補償回路12の変形例を示す。

第8図は、補償回路12の $G_F(s)$ において、速度応答特性とその微分の両出力を、速度指令と速度出力との差分で構成した場合の一実施例である。ここで、ブロック32は、目標の速度応答性を示す伝達関数 $G_M(s)$ を有する。いま、 $G_M(s)$ を次のように1次遅れで表わすと、 $\tau_{F1}$ 、 $\tau_{F2}$ は次式となる。

$$G_M(s) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega_c} s} \quad \dots\dots (15)$$

$$\tau_{F1} = \omega_R \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega_c} s}\right) \cdot k_{F1}$$

$$= \omega_R \cdot \frac{\frac{1}{\omega_c} s}{1 + \frac{1}{\omega_c} s} \cdot k_{F1} \quad \dots\dots (16)$$

$$\tau_{F2} = \omega_R \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega_c} s}\right) \cdot \frac{k_{F2}}{s}$$

なお、第2図の実施例ではIP制御系について説明したが、PI制御系、あるいは速度制御のマイナーループに速度モデルを備えた制御系(MRACS)においても、IP制御の場合と同様の設計手法で適用できる。さらに、目標の速度応答特性は1次遅れ系を例に説明しているが、特にPI制御系への適用では、次のように2次遅れ系で設計するとよりオーバーシュートの少ない制御特性が得られる。

$$G_M(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad \dots\dots (22)$$

$$\Lambda_{G_S}(s) = \left(\frac{T \cdot s + 1}{T \cdot s}\right) \omega_c \quad \dots\dots (23)$$

上述したように、各実施例によれば、低剛性の振動的な負荷を駆動する場合でも、雑振動抑制制御に対して最適にゲイン設計をして振動を抑制できる効果があると同時に、速度応答に関してもオーバーシュート、オフセットなく高速な速度応答が可能となる。

$$= \omega_R \cdot \frac{\frac{1}{\omega_c}}{1 + \frac{1}{\omega_c} s} \quad \dots\dots (17)$$

(16)、(17)式より、第3図のブロック30、31と同一の作用となることが分る。したがって、このような構成でも速度応答特性 $\tau_{F1}$ 、及び、その微分値 $\tau_{F2}$ を得ることができる。

第9図は、補償回路12の $G_F(s)$ を、速度制御回路のモデル34と電動機モデル35を用いて構成した場合の一実施例である。第8図の構成と同様にブロック34と35の伝達関数を次式のように設定すれば、目標の速度応答特性 $\tau_{F1}$ とその微分値 $\tau_{F2}$ が得られる。

$$\text{速度制御回路モデル } \hat{G}_S(s) = \omega_c \quad \dots\dots (18)$$

$$\text{電動機モデル} = \frac{1}{s} \quad \dots\dots (19)$$

$$\tau_{F1} = \frac{s}{1 + \frac{1}{\omega_c} s} \cdot k_{F1} \quad \dots\dots (20)$$

$$\tau_{F2} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\omega_c} s} \cdot k_{F2} \quad \dots\dots (21)$$

なお、上記各実施例では直流機を例に適用しているが、交流機においても、ベクトル制御を用いれば直流機と同じように制御できることは周知のとおりであり、電動機の発生トルクはトルク電流指令 $I_q^*$ に比例して制御できるため、補償回路 $G_F(s)$ の出力を $I_q^*$ に加えればよく、本発明を交流機にも適用できることは明らかである。

〔発明の効果〕

本発明によれば、電動機と負荷が振動的な特性を持つ場合でも、振動を抑制し安定な制御が行なえると同時に、速度指令の応答性についても、オーバーシュート、オフセットがなくなり高速で安定な制御が可能となる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の基本構成図、第2図は第1図実施例の詳細な一実施例のブロック線図、第3図は第2図の等価ブロック線図、第4図は各部の動作波形図、第5図は本発明の効果を説明するためのシミュレーションによるステップ速度応答線図、第6図と第7図は比較のための従来

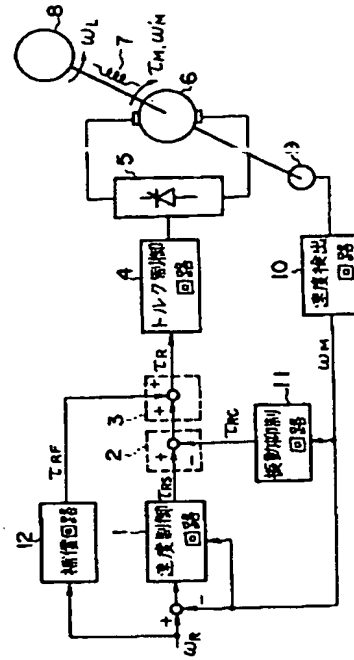


法等によるステップ速度応答線図、第8図と第9図は補償回路の変形例を示すブロック線図である。

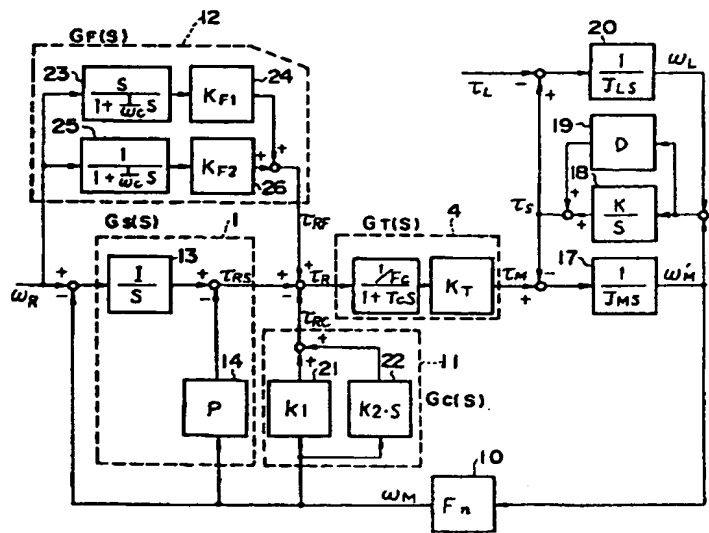
- 1 … 速度制御回路、
- 4 … トルク制御回路、
- 6 … 電動機、
- 8 … 負荷、
- 10 … 速度検出回路、
- 11 … 振動抑制回路、
- 12 … 補償回路。

代理人 鶴 沼 辰 之

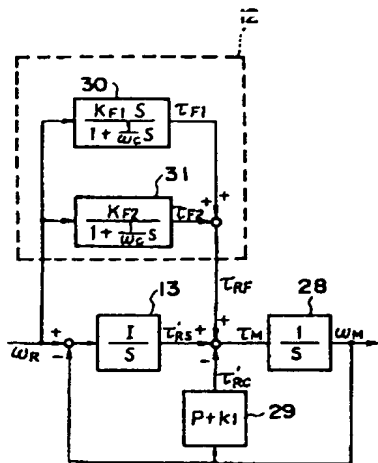
図 1



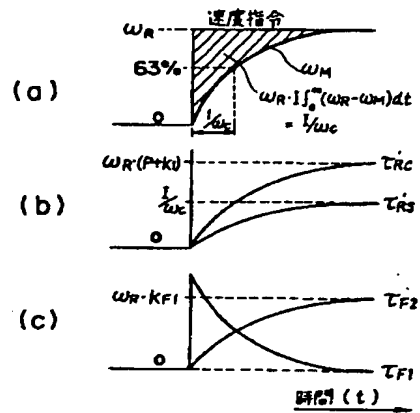
第 2 図



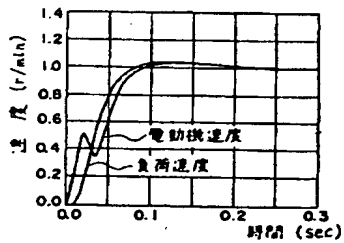
第 3 圖



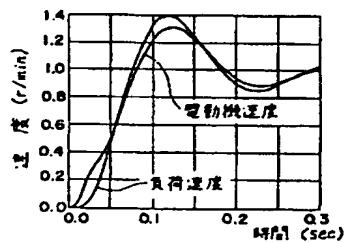
第 4 圖



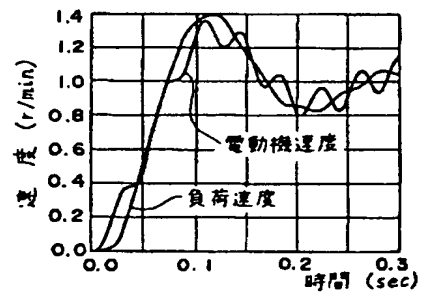
第 5 圖



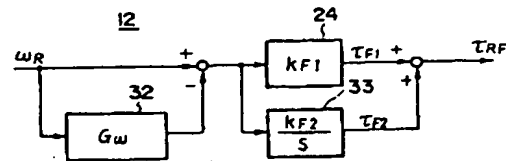
第 6 圖



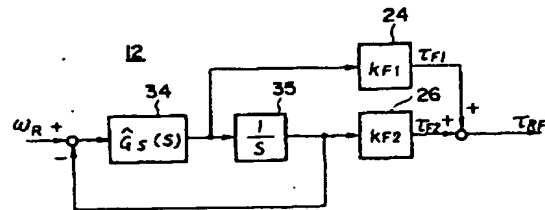
第 7 圖



第 8 図



第 9 図



第1頁の続き

⑦発明者 神井 健三 茨城県日立市大みか町5丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内  
 ⑧発明者 飛世 正博 茨城県日立市大みか町5丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内